

UN EJEMPLO DE ANÁLISIS REGIONAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MARCO DE LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Félix Francés García

Dr. Ing. de Caminos. Prof. Titular de Ingeniería Hidráulica

Universidad Politécnica de Valencia

Camino de Vera, s/n. - 46071 VALENCIA - Telf.: 96 . 387 . 76 . 15

Juan B. Marco Segura

Dr. Ing. de Caminos. Catedrático y Director del Departamento de Ingeniería Hidráulica

Universidad Politécnica de Valencia

Camino de Vera, s/n. - 46071 VALENCIA - Telf.: 96 . 387 . 76 . 15

Vicente Llorens Fabregat

Arquitecto. Jefe del Servicio de Ordenación del Territorio

Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes

Generalitat Valenciana

1. INTRODUCCIÓN

El problema de las inundaciones no es un problema reciente ni en la Comunitat Valenciana ni en España. A nivel nacional se tiene noticia de 2.438 inundaciones históricas en los últimos 5 siglos, localizadas en 1.036 zonas diferentes (MOPU, 1990). En el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar la misma fuente cita 199 inundaciones desde 1483 hasta 1982, mientras que en la Confederación Hidrográfica del Segura se recogen 214 en el mismo período (en su mayor parte en el propio río Segura).

Los 450.000 millones de pts en daños producidos por las avenidas en España de los años 1982 y 1983 y la pérdida de más de 1.100 vidas humanas en la cuenca mediterránea española en los últimos 30 años (Berga, 1991), no solo justifican la inversión en medidas estructurales y no estructurales de defensa contra las avenidas, sino que dado el alto coste de las inversiones y las repercusiones económicas y sociales de las medidas que se adopten, es además exigible la realización de un análisis preciso del fenómeno, una selección cuidadosa de las soluciones que se adopten en cada zona de inundación, y una planificación de su implementación al menos a una escala regional.

Es claro que el territorio cercano a los ríos es de los más idóneos para el desarrollo humano: las tierras de los llanos de inundación contienen suelos más fértiles para la agricultura; es posible el aprovechamiento de los recursos hidráulicos superficiales para el riego, abastecimiento, navegación, extracción de áridos, etc.; los valles de los ríos se constituyen en ejes principales de las vías de comunicaciones terrestres y fluviales; las pendientes del terreno son menores con lo que se facilita la edificación y la urbanización; etc. Estos factores potenciadores del desarrollo humano han compensado en muchos casos los efectos destructores de las inundaciones que se hayan podido producir al lo largo de la Historia.

Inicialmente los asentamientos urbanos ocuparon los lugares más resguardados del llano de inundación, o al menos se situaron en una de las márgenes (la más protegida) del río. El crecimiento posterior de estos asentamientos urbanos y las necesidades de espacio de la industria han hecho que se ocupen cada vez zonas más peligrosas. Para disminuir el impacto de las inundaciones sobre la población, especialmente en los núcleos urbanos, la sociedad ha realizado obras de defensa a lo largo de la historia intentando disminuirlo.

Una de las herramientas esenciales en la planificación de medidas de defensa, tanto de tipo estructural como no estructural, es la elaboración de un mapa de riesgo de inundación. Y ahí es donde se enmarca el presente artículo: mostrar en orden cronológico las distintas etapas seguidas por parte de la Generalitat Valenciana, a través de la Conselleria de Obres Públiques, Urbanisme i Transports (COPUT) y con la colaboración del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (DIHMA) en la integración de la problemática de la inundabilidad en la Planificación Territorial a escala regional.

2. LOS ANTECEDENTES

En realidad, cuando se habla de defensa frente a las inundaciones, hay un antes y un después de la catástrofe de Tous. En aquella ocasión, la crecida del Júcar cogió desprevenida a la sociedad valenciana y en general a la española. Baste citar que en el estudio del CEOTMA (1981) no se mencionaba más previsión sobre crecidas en toda la región que un dique de defensa por importe de 6 millones de pts en el pequeño municipio de Fortaleny. Y bien poco más en toda España, no existiendo ningún plan de alcance. Ciertamente, en los 20 años que van de 1962 a 1982 desde las inundaciones del Vallés hasta el desastre de Tous, las inundaciones "perdonaron" a España y en esos 20 años la sociedad y la economía españolas habían sufrido un cambio radical; cambio que no se había visto reflejado en la política de protección frente a las catástrofes naturales. España tenía que ponerse al día. Por eso, tras el 20 de Octubre de 1982, las inundaciones del País Vasco de 1983 y la nueva inundación del Júcar de 1987, ya nada fue igual.

Por aquel entonces, concluía la transición política y el Estado de las Autonomías comenzaba a contemplarse como una realidad estable. Por aquellas fechas, la COPUT contactó con la Universidad Politécnica de Valencia con una pregunta muy simple: ¿Qué podemos hacer? ¿Qué han de hacer las autoridades autonómicas? La petición era la de elaborar en un año un mapa de riesgos y un plan de obras. Costó bastante convencer a los responsables políticos de que aquello era una locura. No existía ni cartografía de base, ni estudios hidrológicos, ni un inventario de problemas.

Por lo pronto, una decisión importantísima se tomó, por consejo de la Universidad: los problemas de las grandes áreas inundables del Júcar y del Segura, eran problemas de Estado. En el primer caso, 300.000 afectados en 24 términos municipales y en el segundo 100.000 habitantes, en prolongación de una única zona inundable compartida con la Comunidad Autónoma de Murcia y para cuya resolución se preveían obras que tendrían que ubicarse fuera de la Comunitat Valenciana. Era evidente que se carecía de medios humanos y materiales por parte de la Autonomía para abordar estos dos problemas. Además, siendo muy simple delimitar la zona de riesgo (al menos cualitativamente ya que la inundación era reciente) y siendo evidente que el riesgo era inadmisiblemente, lo razonable era hacer sendos planes de obras para reducirlo drásticamente, y ponerse en manos de quien tiene la competencia y los medios para actuar: es decir las Confederaciones Hidrográficas. Tiempo habría después para acotar el riesgo subsistente y para adoptar las medidas territoriales y urbanísticas necesarias. Las obras tenían que ir por delante. Y así fue por fortuna.

Esta decisión además permitió a la Autonomía concentrarse en los problemas de menor escala, que no eran pocos. Esto entonces se intuía, pero no se conocía con exactitud. La Comunitat Valenciana se vertebraba a lo largo de 470 km de costa, con una anchura de menos de 100 km tierra adentro. Un sinfín de pequeños cauces, normalmente secos, descienden torrencialmente desde las montañas hacia los llanos costeros, donde se ubica el 80% de la población. Por esta razón, de los 550 municipios de la región, y excluidos los 50 que pertenecen a las dos macroáreas inundables, aún hay más de 200 municipios con serios problemas, en los que se incluyen a los de mayor población. Por lo tanto, la Generalitat Valenciana decidió concentrarse en los problemas de menor escala, aunque como veremos entre ellos hay algunos que superan en impacto a las citadas macroáreas. Además como la presión social se concentraba lógicamente en las zonas recientemente inundadas, eso permitía analizar los problemas desde la base y con el imprescindible orden y sosiego. Esto era tanto más necesario por cuanto que no se disponía de ningún patrón de análisis, ni de modelos en España o en Europa. Se tenía como referente las metodologías norteamericanas, pero éstas están excesivamente lejanas tanto socioeconómicamente como incluso hidrológicamente. Las crecidas importantes en

España son sobre todo las "crecidas relámpago", porque los núcleos de población no se hallan a lo largo de los grandes ejes fluviales sino junto a los torrentes costeros, o al pie de las montañas. Por tanto, para empezar había que fijar la tipología de la inundación, definir los tipos de problema.

El primer encuentro entre los autores de estas líneas, es decir entre la Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo y el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia, fue a raíz de la redacción de las Normas de Coordinación del Área Metropolitana de Valencia (DIHMA, 1987). La Generalitat confió a la Universidad la delimitación de zonas inundables en la comarca que centra la ciudad de Valencia, y se aprovechó esta oportunidad para establecer un primer prototipo de análisis, si quiera sea de tipo cualitativo. Aquel trabajo a pesar de su limitado ámbito territorial ya destapó varios problemas operativos y permitió formular conclusiones que luego fueran ampliamente corroboradas.

Por ejemplo, aquel trabajo ya resaltó la enorme utilidad del trazado sistemático sobre los planos territoriales de la división en cuencas y subcuencas y la importancia del concepto de que todo punto del territorio aunque no pertenezca a la red fluvial tiene asociada una cuenca vertiente. Esto es crucial en regiones como Valencia, semiáridas, en las cuales la red fluvial está normalmente seca y en muchos casos, por esta razón, ha desaparecido físicamente ocupada por cultivos, caminos, etc. El trazado de una red fina de subcuencas permite identificar posibles problemas sin necesidad de un solo cálculo hidrológico.

Un problema operativo que ya allí se puso de manifiesto fue el de las escalas. Las zonas inundables pueden tener cientos de km² de extensión, como es el caso de la comarca de la Ribera del Júcar, pero también pueden tener apenas unas decenas de metros cuadrados, y en ese lugar ser trascendentes. Por ejemplo, puede ser el caso de algún puente estrecho, que en caso de crecida del río genera un fuerte remanso aguas arriba que afecta a un sólo edificio. Ese problema no admite representación espacial. Sin embargo, el lector convendrá con nosotros que si el edificio en cuestión es un grupo escolar, el problema es enormemente grande y al tiempo difícil de detectar si no se hace un análisis exhaustivo del urbanismo y la red fluvial. Llegamos entonces al concepto de Punto Crítico, o

zona inundable de importancia que no admite representación areal a la escala de trabajo. Los Puntos Críticos suelen ser puentes de escasa capacidad de desagüe, badenes, edificios situados en cauces, etc. Además, son los lugares clave donde se producen la mayor parte de las víctimas humanas y gran parte de los daños materiales indirectos. En cambio su peso en los daños materiales directos es más bien escaso.

Por último, aquel trabajo piloto ya puso de manifiesto que los problemas de inundabilidad de la Comunitat Valenciana eran fundamentalmente de conos aluviales. Un cono aluvial o abanico fluvial es una acumulación de sedimentos con forma de sector circular en la cual el cauce ocupa la posición más elevada y va perdiendo capacidad hidráulica, pudiendo incluso desaparecer por completo. Son formas geológicas que aparecen típicamente en las transiciones de la montaña al llano. Como ya se ha dicho, al ser la Comunitat Valenciana un corredor de llanos costeros al pie de las montañas, todos los cauces grandes y pequeños tienen su abanico fluvial más o menos importante. La consecuencia fundamental es que este tipo de zona inundable que es el característico de los ambientes mediterráneos, es completamente opuesto a la situación clásica de valle con el río ocupando el lugar más bajo, como sucede en la Meseta o en la vertiente atlántica. Conviene recordar que los conceptos legales de zona de servidumbre y de dominio público hidráulico en nuestra legislación de Aguas, responden más bien al caso de valle con río al fondo y se adaptan mal a los problemas de conos aluviales. Incluso la red fluvial ha desaparecido por completo. Desde el punto de vista del análisis hidráulico, el flujo es bidimensional y no se puede saber de antemano la dirección del movimiento del agua, lo cual exige un refinamiento de análisis muy costoso y que sólo se justifica en casos muy importantes. Los conos aluviales están además vinculados a las marjalerías, albuferas y otros humedales costeros y como es bien conocido, la presión urbanística turística sobre la restinga y el traspais es impresionante a o largo de la costa valenciana. Esto ha generado una problemática específica de las que más tarde hablamos y que ha requerido estudios especiales.

3. EL MAPA DE LOCALIZACIÓN DE ZONAS INUNDABLES

La segunda fase de los estudios, fue un reconocimiento sistemático y completo de todo el territorio de la Comunitat Valenciana. Fue un trabajo esencialmente cualitativo y de campo a lo largo de casi 6 años. Los criterios fueron geomorfológicos y para ello se contó con el apoyo entusiasta del Departamento de Geografía Física de la Universidad de Valencia. La delimitación sistemática de cuencas y subcuencas fue una herramienta utilísima a pesar de su simplicidad. Las zonas inundables marcadas no tenían zonificación y se prefirió en todo caso pecar por exceso. El trabajo se desarrolló en tres etapas en función de la importancia de la problemática de las inundaciones. En la primera etapa, se cartografiaron todas las comarcas costeras que contienen la mayor parte de la población y la economía. En una segunda etapa del estudio, se abordaron las comarcas del interior de Alicante y Sur de Valencia, comarcas densamente pobladas y con vocación industrial. Finalmente en la tercera etapa del estudio, y más por completado que por otra causa, se cartografió el interior de Castellón y de la mitad Norte de Valencia, comarcas de montaña que han perdido el 80% de su población en los últimos años, y donde no era lógico esperar problemas importantes, como así fue.

Esta segunda fase, ya dejó claramente establecida la magnitud del problema a escala regional y sus rasgos definitorios. La catalogación y tipificación de las zonas y sus problemas, quedó establecida del modo siguiente:

- i) Zonas de inundación masiva. Son las dos macrozonas de la Ribera del Júcar y Vega Baja del Segura, con una superficie inundable que superaba los 100 km² y una problemática hidráulica compleja y específica.
- ii) Conos aluviales. Se contabilizaron 14 con núcleos de población importante y 60 con menor grado de ocupación. Evidentemente éste era el problema clave a escala regional, como ya se presuponía.
- iii) Desapariciones de cauce. Conos aluviales de menor entidad (menos de 1 km²) con desaparición completa del cauce, se contabilizaron cerca de 300. Este tipo de problema participa de muchas características comunes con el precedente. Sólo le separa el tamaño pero la desaparición completa

agrava en muchos casos el problema al añadir el factor sorpresa. Como ejemplo, el pequeño barranco de Sant Pau, con apenas 5 km² de cuenca, desaparecía contiguo a los terrenos donde se ubicó la Estación de Mercancías de Elche. Como no existía cauce, no se colocó ninguna obra de paso y una tormenta al poco tiempo destruyó buena parte de la estación, sin daños personales.

- iv) Valles fluviales. Este, que es el caso típico en el interior de España y para el cual se diseñó la legislación española, apenas tiene peso en nuestra región. 7 ejes o valles fluviales contienen algún tipo de ocupación, en ningún caso grave.
- v) Zonas endorreicas. Las zonas endorreicas o semiendorreicas son aquellas que se encuentran aguas arriba de un punto sin desagüe, en el cual se acumula el agua hasta que se infiltra o evapora. Son características de las comarcas interiores de la Comunitat, limítrofes con Castilla-La Mancha, típicamente llanas y áridas. Este es un problema que no provoca víctimas pero sí inhabilita grandes extensiones de terreno para cualquier uso que no sea el agrícola.
- vi) Puntos Críticos. Como ya se ha dicho, se inventariaron aquellos lugares en riesgo que no admitían representación areal a la escala del plano, pero que tenían gravedad suficiente. Superaron los 300.

El resultado fue que a finales de 1992 se disponía de un Mapa de Zonas Inundables, a escala 1:50.000 que cubría todo el territorio, delimitando cuencas vertientes y zonas de riesgo, siquiera en forma cualitativa, pero su mayor valor no era el cartográfico sino el de inventario y tipificación de problemas (DIHMA, 1992). Los mapas, que habían sido dibujados manualmente fueron pasados a soporte informático, con lo que a partir de 1993 ya se trabajó directamente sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG).

En paralelo se abordó el estudio de cinco zonas inundables representativas con el fin de establecer una metodología de análisis del riesgo de inundación con detalle. El estudio de estos prototipos ya permitió un primer esbozo de diferenciación marcando las profundidades de menos de 0,4 m, hasta 0,8 m y más de 1,2 m, como valores representativos de la magnitud de una inundación. También se des-

arrolló un prototipo de análisis conjunto hidráulico y urbanístico sobre el cono aluvial del Palancia, que afecta al Puerto de Sagunto, Canet de Berenguer y sus playas. Éste ya marcó una importante conclusión: la interacción entre el mapa de riesgo y las medias estructurales adoptadas. Es evidente que el mapa de riesgo queda modificado según que se adopte un paquete de medidas estructurales u otras.

4. EL MAPA DE RIESGO CUANTITATIVO

En 1994, completado el mapa cualitativo y los prototipos de análisis, se estaba en condiciones de cuantificar sistemáticamente el riesgo en aquellas zonas ya inventariadas, pero manteniendo la visión regional del problema.

El riesgo de inundación trata de medir la frecuencia y la magnitud con que se produce este fenómeno. La definición más habitual de frecuencia de una determinada inundación es la probabilidad de que en un año cualquiera el caudal que la produce se vea superado al menos una vez. Sin embargo, la mayor parte de las veces se habla de período de retorno en años, que es el inverso de esta probabilidad de excedencia. Los límites de frecuencias que se manejan en este trabajo para la evaluación del impacto son las de 25, 100 y 500 años.

Por otra parte, la magnitud de la inundación depende de la cantidad de precipitación, de las características de la cuenca vertiente al punto considerado (fundamentalmente su tamaño y la capacidad de infiltración del terreno), y por último de las condiciones de drenaje de ese punto concreto. De tal forma que si la capacidad de drenaje es insuficiente para la magnitud de los caudales recogidos por la cuenca vertiente, se produce una inundación. Dada la escala regional utilizada, sólo se definió en el trabajo previo de delimitación de riesgos dos magni-

des: calados menores o mayores de 80 cm. Este calado es reconocido como aquel por encima del cual se disparan los daños materiales y se producen víctimas humanas.

El resultado de riesgos posibles por combinación de frecuencia y magnitud se recoge en la Tabla 1. Dado que se trata de sólo 6 niveles, es posible su representación en un único mapa, en lugar de la representación habitual de un mapa de magnitudes para cada nivel de probabilidad.

Partiendo de la delimitación de zonas inundables con criterios geomorfológicos obtenida en la fase anterior, se seleccionaron un centenar de ellas, donde se realizaron los correspondientes estudios hidrológicos e hidráulicos (Francés, 1997). Mediante el estudio hidrológico de cada cuenca, se determinaron los caudales punta para cada frecuencia que pueden esperarse en cabecera de la zona inundable. Básicamente se utilizó el análisis regional de precipitaciones máximas diarias de Ferrer y Ardiles (1995), y para la conversión de la lluvia en caudales el método racional modificado de Témez (1991). Para la obtención del parámetro del modelo de infiltración fue de inestimable ayuda el contar con la información litológica y de vegetación en soporte informático.

La obtención de los límites de inundación y estimación del calado medio es el objetivo de los estudios hidráulicos, que se centraron especialmente en la determinación de la capacidad de desagüe a lo largo de cada cauce en la zona potencialmente inundable, adoptando como hipótesis de flujo la de flujo no uniforme permanente.

Esta metodología no es válida para los casos de inundación masiva de los ríos Júcar y Segura, en los que se utilizó la información existente sobre superficies inundadas históricamente, procedente del Centro de Estudios Hidrográficos (1983) y de la Confederación Hidrográfica del Segura (anejo de Inundaciones Históricas del Plan Hidrológico de Cuenca), y el análisis de la frecuencia de crecidas realizado por Francés (1995) para ambos ríos.

En 1997 se culminó el mapa de riesgo cuantitativo a escala 1:50.000 de toda la región, en soporte informático, haciendo uso de un SIG, siendo inmediatamente publicado y distribuido para obtener la mayor difusión posible entre los técnicos relacionados con la temática de las inundaciones (Francés, 1997).

Calado	Frecuencia		
	Baja	Media	Alta
Bajo	6	4	3
Alto	5	2	1

Tabla 1.- Niveles de riesgo de inundación considerados en un mapa regional.

Un ejemplo de la cartografía resultante es el representado en la Figura 1.

El empleo de un SIG no solamente facilitó la elaboración de la cartografía, sino que también posibilitó el análisis de los resultados obtenidos, cruzando el mapa de riesgos con otras capas de información disponibles por la COPUT. Un ejemplo puede ser el resumen de las superficies afectadas, y su clasificación por usos y provincias, como se recoge en la Tabla 2.

Esta claro que en términos superficiales es el uso agrícola el más afectado: por ser el uso de mayor extensión y por localizarse los suelos de mejor aptitud agrícola en zonas de inundación. Sin embargo, en términos de afección porcentual los resultados son algo mayores que la afección urbana en las provincias de Alicante y Valencia, pero menor en la

de Castellón. Por contra, desde el punto de vista de la afección urbana se puede apreciar que el porcentaje de usos urbanos afectados por las inundaciones es mayor que el porcentaje medio de afección, tanto a nivel de la Comunitat como a nivel provincial. Esto se debe al hecho que población y riesgo se concentran en la costa, y por tanto en el mismo espacio.

También se refleja en la Tabla 2 que las provincias de Alicante y Valencia presentan un porcentaje de superficie afectada por las inundaciones superior al de la provincia de Castellón, fundamentalmente debido a la existencia de las inundaciones masivas del Júcar y Segura. Sin embargo, desde el punto de vista del porcentaje de superficie urbana afectada, es la provincia de Castellón la que presenta un valor mayor debido a la mayor proporción de marjales costeros con fuerte desarrollo urbanístico en su entorno.

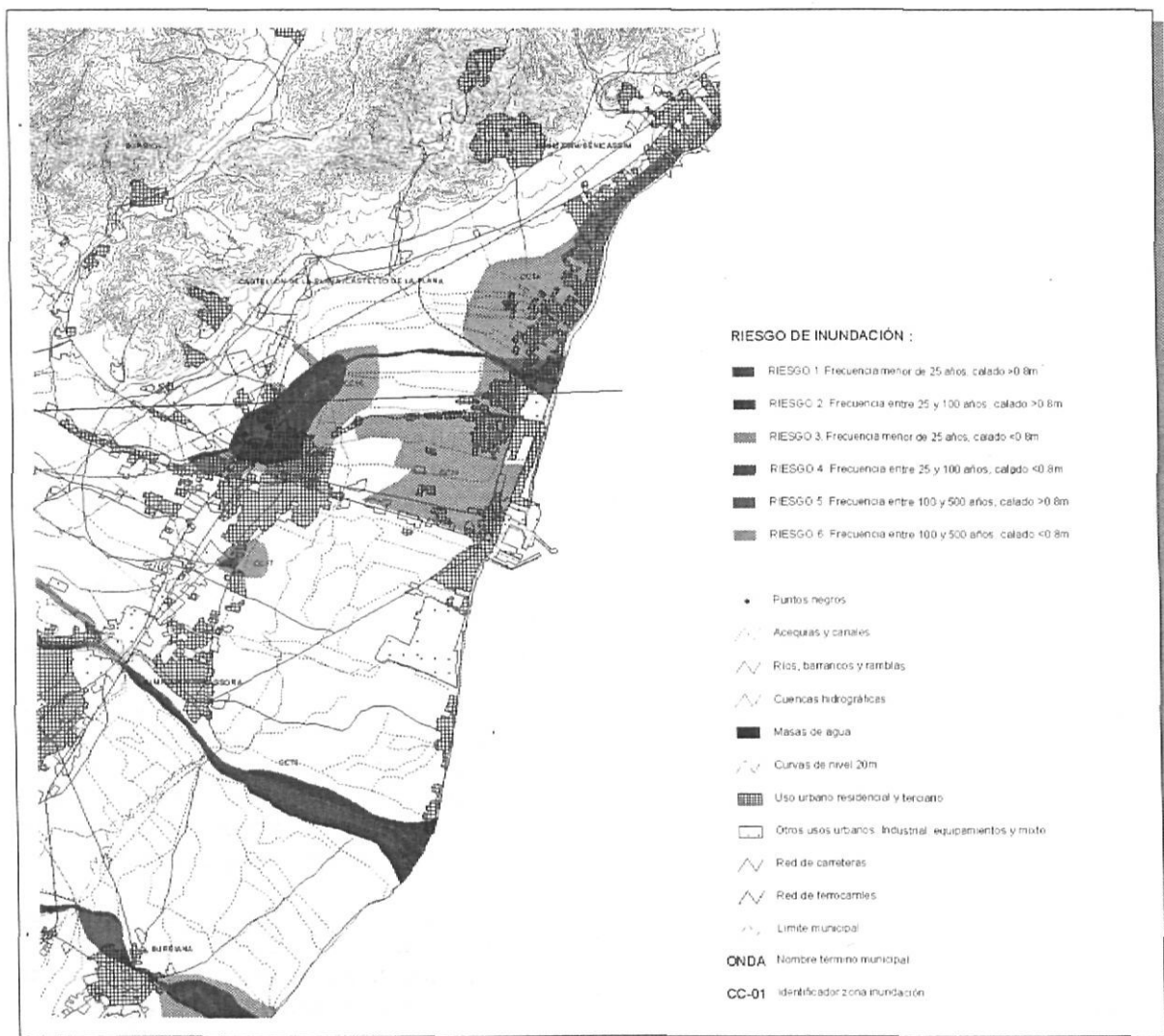


Figura 1.- Ejemplo de cartografía y leyenda: cruce del mapa de riesgo de inundación y usos urbanos actuales en el entorno de la ciudad de Castellón.

	Superficie total (ha)			Superficie inundable (ha)			% afectado		
	Urbana	Agrícola	Total	Urbana	Agrícola	Total	Urbana	Agrícola	Total
ALICANTE	34.485	271.037	581.515	2.271	28.910	42.645	6'59	10'67	7'33
CASTELLÓN	12.874	228.734	666.874	1.483	9.657	16.337	11'52	4'22	2'45
VALENCIA	43.146	459.017	1.078.390	3.550	51.863	66.670	8'23	11'30	6'18
COMUNITAT	90.504	958.788	2.326.779	7.304	90.429	125.652	8'07	9'43	5'40

Tabla 2. Superficies totales e inundables por usos del suelo por provincias.

Pero ¿la superficie inundable es un buen indicador del impacto de las inundaciones? La respuesta tiene que ser que no, ya que por ejemplo, parece claro que el impacto es mayor en los usos urbanos que en los agrícolas a igualdad de superficie. Por tanto, es necesario dar un paso más.

5. EL MAPA DE IMPACTO Y EL PROGRAMA PATRICOVA

El Programa PATRICOVA (Plan de Acción Territorial de Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana) elaborado por el DIHMA (1999) nació de la disponibilidad del mapa de riesgo y de los mapas de usos del suelo actuales y planificados. Este último digitalizado a partir de la información disponible en los Planes Generales de Ordenación Urbana de cada municipio (PGOU). Como elemento de evaluación objetivo de la mayor o menor importancia del problema de las inundaciones en un punto, empleamos el concepto de impacto. El impacto que provocan las inundaciones en una zona concreta del territorio se obtiene por la combinación en el espacio del riesgo y de la vulnerabilidad, como se esquematiza en la Figura 2. El impacto es, por tanto, el daño medio que potencialmente pueden producir las inundaciones, y será mayor en la medida en que la vulnerabilidad y el riesgo también lo sean.

La vulnerabilidad del territorio se define como los daños producidos en función de la magnitud de la inundación. La variable de magnitud más importante en la determinación de la vulnerabilidad frente a una inundación es el nivel (o calado) máximo alcanzado por las aguas, de tal forma que para cualquier uso del suelo se puede determinar una curva de porcentaje de daño sobre el valor total en función de ese calado (Figura 3). Como regla general para todos los usos, el porcentaje de da-

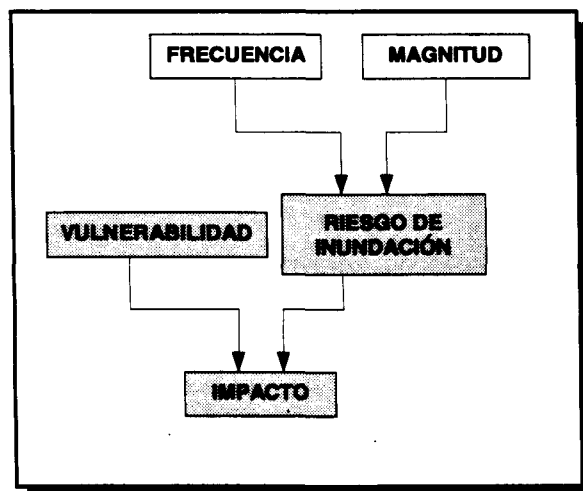


Figura 2. Relaciones entre los diversos conceptos que intervienen en el impacto de las inundaciones.

ños es pequeño si los calados son inferiores a 80 centímetros, a partir de este valor se disparan los daños, y por encima de los 120 centímetros éstos crecen lentamente. A pesar de la importancia del calado, no hay que olvidar que existen otros factores que influyen en los daños producidos, aunque en menor medida, como son la velocidad del agua, la duración de la inundación, la cantidad de sedimentos arrastrados, etc., y que además son más difícilmente evaluables.

Basándonos fundamentalmente en las curvas de vulnerabilidad empleadas por la *US Federal Insurance Agency* (Douglas, 1975), valores actuales por m² de los diferentes usos del suelo, la densidad de comercios en usos urbanos en cada municipio y en las primas base establecidas en los seguros agrarios (publicadas anualmente por el Ministerio de Agricultura) correspondientes a la cobertura de riesgos de inundación, obtuvimos la vulnerabilidad en unidades no monetarias de los usos del suelo disponibles para las dos magnitudes de trabajo (DIHMA, 1999). A continuación se procedió a la obtención del impacto en

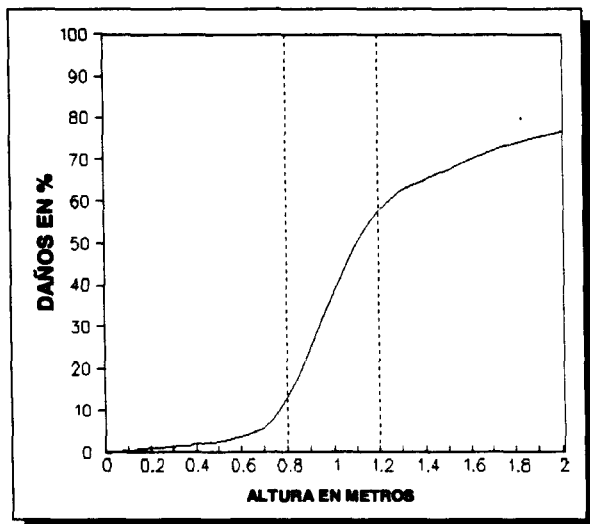


Figura 3. Curva tipo de porcentaje de daños en función del nivel de agua para un uso genérico.

cada polígono elemental por integración discreta en los tres niveles de probabilidad considerados (Grigg y Helweg, 1975). A partir de esta nueva capa de información, la agregación de los resultados por zonas de inundación o municipios, considerando la situación actual y futura fue inmediata. Así, el reparto del impacto por usos y por provincias que se resume en la Tabla 3, da una perspectiva del problema diferente al de la Tabla 2.

Desde el punto de vista del impacto, que es el que nos debe interesar si el objetivo es la Planificación Territorial, claramente es la inundación urbana donde se centran los problemas en las tres provincias. Sólo en la provincia de Valencia los usos agrícolas alcanzan el tercio del impacto total, y donde en términos absolutos se localiza más de la mitad del impacto agrícola de la Comunitat. Se ha definido en la tabla anterior la densidad como el ratio entre el impacto sobre un determinado uso y la superficie total de ese uso, es decir, la densidad mide la proporción de impacto en cada

uso. Desde este punto de vista, es la provincia de Castellón donde el impacto de las inundaciones sobre los usos urbanos es claramente mayor, mientras que desde el punto de vista del impacto total, la mayor densidad le corresponde a la provincia de Alicante.

En general, los resultados ratificaron muchas conclusiones previas. Así quedó claro que hay una lista de 200 municipios, que incluye los de mayor población de la región, que tiene un serio problema de inundabilidad y que ineludiblemente deben considerarla como factor en su planeamiento, mientras que otros 300, los de montaña y menor población están libres (Figura 4). Esto constata un hecho que es extrapolable a toda España, y es que los problemas de inundabilidad, salvo casos históricos bien conocidos, como Alzira, Orihuela, etc., están asociados al crecimiento urbano más reciente. Por los daños posibles, la mayor vulnerabilidad está concentrada en los núcleos industriales del entorno de las grandes ciudades (Áreas Metropolitanas de Valencia, Alicante, Elche y Castellón de la Plana) y asociada a barrancos con una cuenca pequeña (de 30 a 150 km²), sin caudal permanente y por ello muy degradados.

En cuanto a usos planificados la Figura 5 representa la relación entre el impacto futuro en suelo urbanizable y el impacto actual en suelo urbanizado con agregación municipal. Ratios elevados son indicadores de una planificación incorrecta: bien porque los PGOU son excesivamente expansionistas o bien por que dirigen el desarrollo urbano hacia zonas inundables en mayor proporción que la situación actual. Destaca el hecho de que, como se observa en dicha figura, no son los municipios con mayor impacto actual los que proponen desarrollos temerarios: éstos han aprendido de los errores del pasado.

	Impacto			% del total		Densidad (ud/ha)		
	Urbano	Agrícola	Total	Urbano	Agrícola	Urb.	Agr.	Total
ALICANTE	18.337.331	3.908.737	22.246.068	82,43	17,57	531,75	14,42	38,26
CASTELLÓN	11.425.826	1.671.596	13.097.422	87,24	12,76	887,54	7,31	19,64
VALENCIA	15.332.561	6.410.027	21.742.588	70,52	29,48	355,36	13,96	20,16
COMUNITAT	45.095.718	11.990.360	57.086.078	79,00	21,00	498,27	12,51	24,53

Tabla 3.- Impacto y densidad de impacto por usos del suelo actuales para cada provincia y el total de la Comunitat Valenciana.

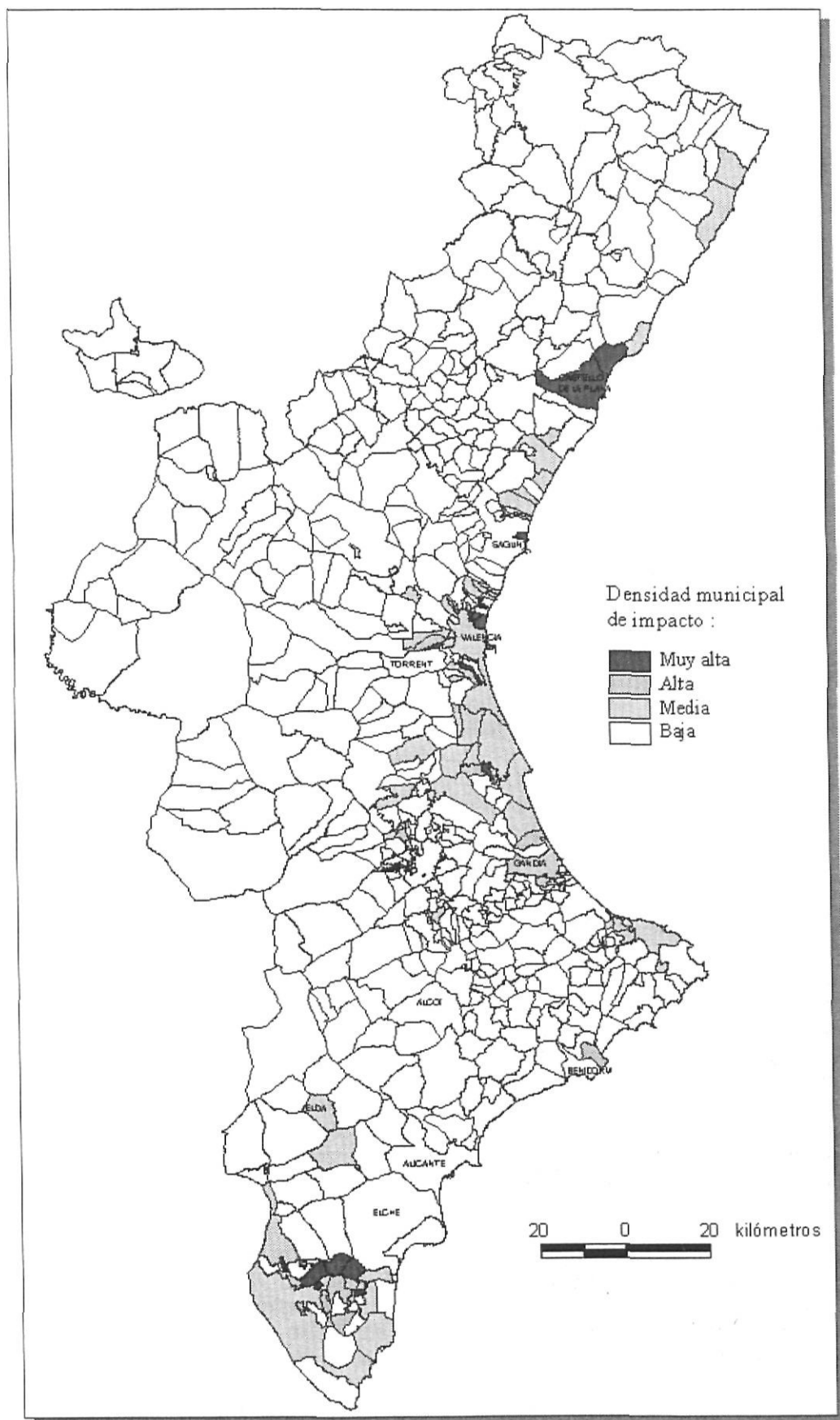


Figura 4. Impacto actual por unidad de superficie con agregación municipal.

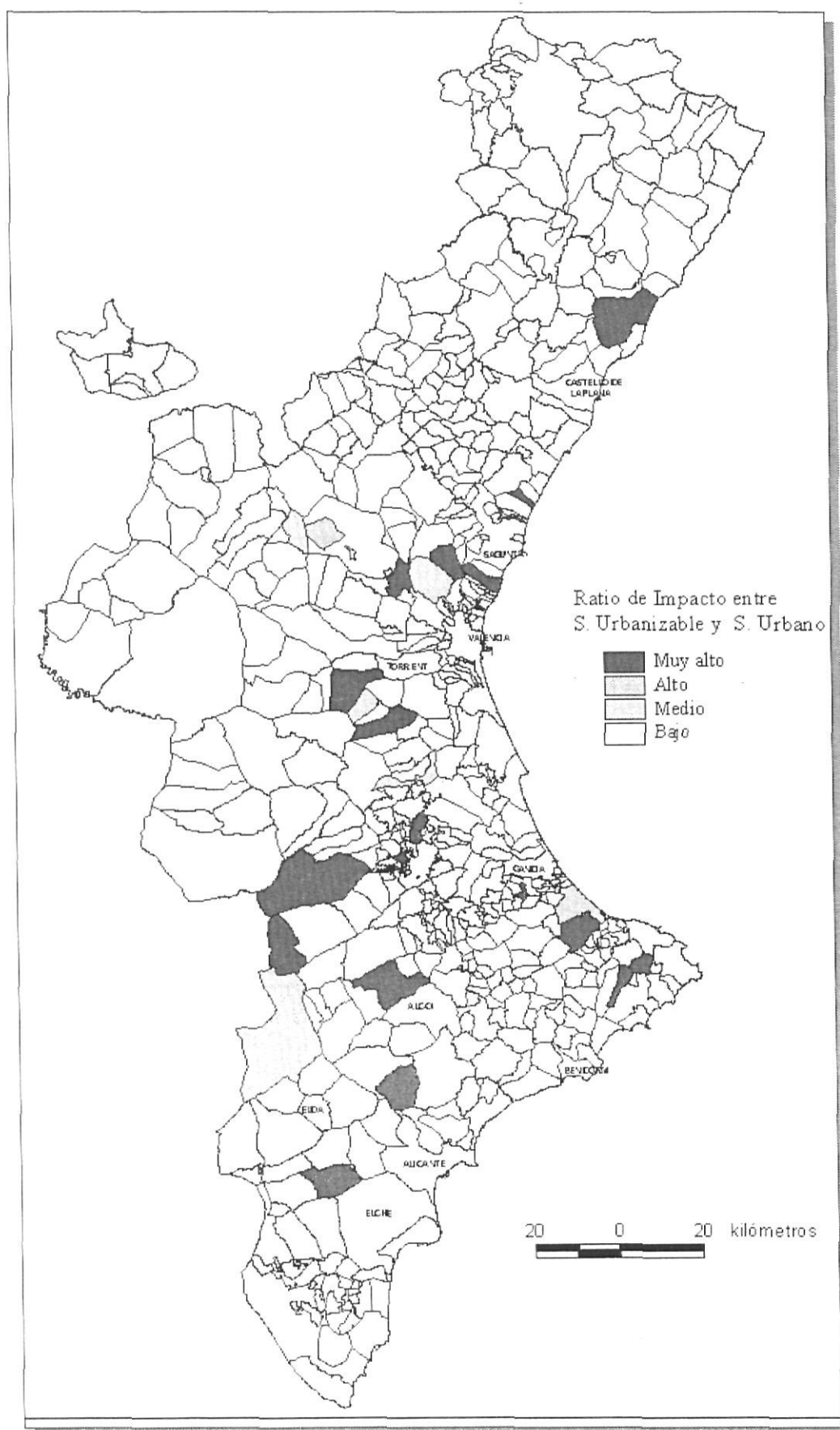


Figura 5. Ratio entre el impacto en suelo urbanizable y suelo urbano a nivel municipal.

También se registraron algunas sorpresas. Por ejemplo la macrozona inundable de la Ribera del Júcar ocupa el segundo lugar por impacto total, por detrás de la de la Vega Baja del Segura (que triplica su impacto) y con un impacto similar a la del entorno de la ciudad de Castellón (Río Seco y marjal de Castellón). Esto se debe por una parte a la importante reducción del riesgo que ha producido la construcción de la nueva presa de Tous y otras obras (frente a un nivel de protección menor en los casos del Segura y Castellón), y por otra a la escasa industria radicada en la zona inundable. Esto pone en cuestión la necesidad o la exigencia popular en muchos casos de más protección. Como se sabe la protección perfecta no existe, pero incluso llevar la protección al nivel de retorno 500 años exige unas inversiones desahoradas, que dejan otras zonas por carencia de medios con niveles de protección bajo mínimos.

Aunque no es objeto de este artículo, hay que mencionar que el objetivo del PATRICOVA no era sólo la estimación del impacto de las inundaciones en todo el territorio de la Comunitat, sino que ese conocimiento debía traducirse en un Plan de Actuaciones que redujera en el futuro el impacto. Las actuaciones propuestas se articulan en tres planes según su tipología: estructurales, de ordenación urbanística y de restauración hidrológico-forestal. Con unas inversiones del orden de 200.000 millones de pts, cabe esperar una reducción del 61 % del impacto futuro frente a no hacer nada.

6. CONCLUSIONES

Parece claro según nuestra experiencia, que el conocimiento de la problemática de las inundaciones a escala regional pasa por la actuación en tres fases diferenciadas:

1. En primer lugar, la elaboración de un mapa de localización de zonas de inundación y su tipología, mediante el reconocimiento exhaustivo del territorio y teniendo en cuenta la información histórica y estudios previos existentes. En esta fase la delimitación de cada zona de inundación debe basarse exclusivamente en criterios geomorfológicos.
2. Una vez localizadas las zonas inundables, debe procederse a la evaluación

del riesgo de inundación, realizando los estudios hidrológicos e hidráulicos pertinentes a la escala de trabajo, en las zonas que puedan parecer a priori de mayor importancia, y estimándolo en el resto.

3. Por último es necesario la evaluación del impacto de las inundaciones en cualquier punto del territorio, para determinar de una manera objetiva la mayor o menor importancia a cualquier nivel de agregación, y por tanto, su prioridad desde el punto de vista de la planificación de medidas correctoras.

Todos estos trabajos no son abordables si la información espacial necesaria (topografía, vegetación, edafología o en su defecto litología, usos del suelo, planificación urbana) no se encuentra en soporte informático. Los SIG son la herramienta ideal para su manejo, y para la realización de cualquier tipo de análisis territorial, de los cuales sólo se han mostrado algunos ejemplos en este artículo. Es más, en estos momentos sería posible la implementación de los cálculos hidrológicos sobre un SIG, lo que además de facilitarlos sustituyendo al costoso trazado manual de subcuencas entre otras cosas, permitiría la detección automática y exhaustiva de puntos del territorio potencialmente problemáticos a partir de la elección de un caudal de crecida umbral.

Evidentemente un mapa regional 1:50.000 que permite una visión general de suficiente precisión para la Planificación Territorial, presenta problemas de escala graves cuando se quiere utilizarlos para otros fines. Las zonas inundables de mayor importancia requieren la elaboración de mapas de riesgo e impacto con mucho mayor detalle, fundamentalmente en lo que respecta a la topografía base utilizada (precisión inferior al medio metro), como en la modelación hidráulica del flujo desbordado (bidimensional y transitorio).

En el otro extremo, los que hemos denominado como Puntos Críticos no pueden ser localizados en su totalidad en un mapa regional, por lo que es necesario la realización de inventarios sectoriales, especialmente en lo que se refiere a equipamiento público como colegios, hospitales, subestaciones eléctricas, campings, etc.

Tampoco es abordable en un mapa regional la problemática de las inundaciones por

escorrentía urbana, es decir por fallo del saneamiento. Este fenómeno sólo alcanza trascendencia para áreas urbanizadas continuas superiores a las 200 ha, pues si se intercalan zonas no urbanas, el agua en su discurrir, queda atrapada o se infiltra en ellas.

Con todos los errores y defectos del trabajo realizado hasta la fecha, consideramos que en todo caso se han dado los pasos necesarios en la dirección correcta. La existencia de unos mapas de riesgo y de impacto de las inundaciones son herramientas esenciales en la Planificación Territorial y en la elaboración de cualquier Plan de Actuaciones cuyos objetivos incluyan la disminución en el futuro del problema de las inundaciones.

7. REFERENCIAS

Berga, L. (1991). Flood Forecasting in Spain. *XXIV Congreso Internacional de la IAHR*, Madrid, tomo A, 79-88.

Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (1983). *Actualización de los Estudios de Desagüe de la Autopista Tarragona-Alicante, Tomo IV: Cruce con el río Júcar*. Informe para el MOPU.

CEOTMA (1981). *Estudio de Reconocimiento Territorial de la Comunidad Valenciana*. Informe para el MOPU.

DIHMA (1987). *Normas de Coordinación del Área Metropolitana de Valencia*. Informe para la COPUT.

DIHMA (1992). *Medidas Territoriales de Control de las Inundaciones y Análisis de 5 Prototipos de Trazado de Mapas de Riesgo de Inundación*. Informe para la COPUT.

DIHMA (1999). *Avance del PATRICOVA*. Informe para la COPUT.

Douglas, J.L (1975). *Integration of Hydrologic, economic, ecologic, social an well-being factors in planning flood control measures for urban streams*. Georgia Institute of Technology.

Ferrer, J y Ardiles L. (1995). Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. *Revista de Ingeniería Civil*, 95, 87-100.

Francés, F. (1995). *Utilización de la información histórica en el análisis de la frecuencia de las crecidas*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería, Barcelona, 242 pp.

Francés, F. (1997). *Delimitación del riesgo de inundación a escala regional en la Comunidad Valenciana*. Serie Cartografía Temática, Servicio de Publicaciones de la Generalitat Valenciana, 56 pp y CD.

Grigg, N. S. y O. Helweg (1975). State of the art of estimating flood damage in urban areas. *Water Resources Bulletin*, v. 11, nº 2.

Témez, J.R. (1991). Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain. *XXIV Congreso Internacional de la IAHR*, Madrid, tomo A, 33-40.